

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-198303

(P2002-198303A)

(43) 公開日 平成14年7月12日 (2002.7.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

H 0 1 L 21/027

G 0 1 M 11/02

B 2 G 0 8 6

G 0 1 M 11/02

G 0 3 F 1/08

N 2 H 0 9 5

G 0 3 F 1/08

7/22

H 5 F 0 4 6

7/22

H 0 1 L 21/30

5 1 5 F

5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願2000-398444 (P2000-398444)

(22) 出願日

平成12年12月27日 (2000. 12. 27)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 萩原 恒幸

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 近藤 尚人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100102901

弁理士 立石 篤司

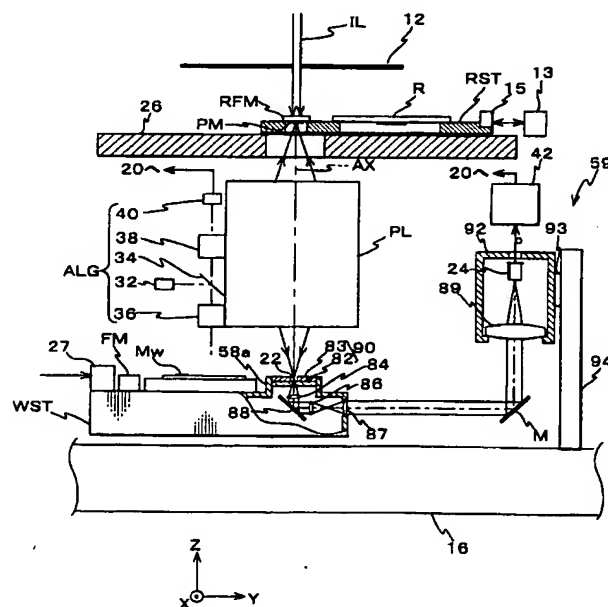
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置、光学特性計測方法、及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 専用の計測用原版を用いることなく、各種自己計測を行うことが可能な露光装置を提供する。

【解決手段】 露光装置100は、各種自己計測に用いられる複数種類の計測用マークが形成されたレチクルFM板RFMと、レチクルFM板RFMが載置された移動ステージRSTと、スリット22が形成されたスリット板90を含む空間像計測器59とを備えている。ステージRSTによって、照明光ILによって照明可能な投影光学系PLの物体側焦点面位置近傍にレチクルFM板RFMに形成された各種自己計測に用いられる複数種類の計測用マークのそれぞれを位置させて、照明光ILを計測マークに照射し、その計測マークの空間像を空間像計測器59を用いて計測することにより、専用の計測用原版を別に用意することなく、各種自己計測が可能となる。



【請求項6】 前記自己計測用原版に形成された計測マークには、前記投影光学系のディストーション計測マーク、ベストフォーカス計測用の繰返しマーク、ベストフォーカス計測用の疑似孤立線マーク、前記基板との重ね合せ誤差計測用のアライメントマークの少なくとも1つが含まれることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の露光装置。

【従来の技術】従来より、半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して表面にフォトレジスト等の感光剤が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する投影露光装置、例えばステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等が用いられている。

【0003】ところで、半導体素子等を製造する場合には、異なる回路パターンを基板上に幾層にも積み重ねて形成する必要があるため、回路パターンが描画されたレチクルと、基板上の各ショット領域に既に形成されたパターンとを正確に重ね合わせる事が重要である。かかる重ね合を精度良く行うためには、投影光学系の光学特性が所望の状態に調整されることが必要不可欠である。

【0004】この投影光学系の光学特性の調整の前提として、光学特性を正確に計測する必要がある。この光学特性の計測方法として、所定の計測用パターンが形成された計測用マスクを用いて露光を行い、計測用パターンの投影像が転写形成された基板を現像して得られるレジスト像を計測した計測結果に基づいて光学特性を算出する方法（以下、「焼き付け法」と呼ぶ）が、主として用いられている。この他、実際に露光を行うことなく、計測用マスクを照明光により照明し投影光学系によって形成された計測用パターンの空間像（投影像）を計測し、この計測結果に基づいて光学特性を算出する方法（以下、「空間像計測法」と呼ぶ）も行われている。かかる空間像の計測及びこれに基づく投影光学系のディストーション等の検出については、例えば、特開平10-209031号公報等などに詳細に開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の露光装置では、例えば搭載された投影光学系の光学特性等を自らの持つ空間像計測器、その他の計測器を用いて計測する、いわゆる自己計測を行う際には、計測用のマークが形成された計測専用のレチクル（以下、「専用レチクル」と呼ぶ）が主として用いられていた。

【0006】しかしながら、専用レチクル用いて自己計測を行う場合には、計測の度にその専用レチクルを装置に装着しなければならず、特に最近の露光装置では各種の自己計測を行う必要があるため、例えば各種自己計測を連続的に行うような場合には、異なる専用レチクルに計測の度に交換しなければならない。このため、その作業自身及び専用レチクルの管理が煩雑であった。

【0007】また、専用レチクルを装置に装着する度にその専用レチクルの姿勢が変化し、計測誤差を生じることがあった。また、専用レチクルを用いる場合、通常の使用時、例えば連続運転中などには、専用レチクルとデバイス製造用のレチクルとの交換時間が露光装置のスループット低下の要因となるため、それほど頻繁に計測を行うことが困難であった。

【0008】また、空間像計測により、投影光学系の光学特性を計測する場合、その光軸に直交する面内の空間像の位置を計測し、その計測結果に基づいて投影光学系の光学特性を算出することがあるが、そのような場合に計測中に空間像計測器の位置を計測するレーザ干渉計のドリフト等に起因する計測誤差が発生することがあ

た。

【0009】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、専用の計測用原版を用いることなく、各種自己計測を行うことが可能な露光装置を提供することにある。

【0010】本発明の第2の目的は、投影光学系のテレセントリシティを精度良く計測することができる光学特性計測方法を提供することにある。

【0011】本発明の第3の目的は、デバイスの生産性を向上させることができるデバイス製造方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の露光装置は、照明光により所定のパターンを照明し、前記パターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、各種自己計測に用いられる複数種類の計測マークが形成された自己計測用原版と；前記自己計測用原版が載置され、前記照明光によって照明可能な前記投影光学系の物体側焦点面位置近傍に前記自己計測用原版を移動させることが可能な自己計測用原版載置ステージと；を備える。

【0013】これによれば、自己計測用原版載置ステージによって、照明光によって照明可能な投影光学系の物体側焦点面位置近傍に自己計測用原版に形成された各種自己計測に用いられる複数種類の計測マークのいずれをも位置させることができる。このため、照明光を計測マークに照射し、その計測マークの像を投影光学系の像側焦点面位置近傍に結像させ、その像を検出することにより、専用の計測用原版を別に用意することなく、各種自己計測が可能となる。

【0014】この場合において、請求項2に記載の露光装置の如く、前記投影光学系の光軸に垂直な2次元面内に配置され計測用パターンが形成されたパターン形成部材と、前記計測用パターンを介した前記照明光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器と；前記照明光によって前記自己計測用原版の少なくとも一部が照明され、前記投影光学系によってその像側焦点面近傍に前記照明光で照明された前記計測用パターンの空間像が形成された際に、該空間像と前記計測用パターンとが相対走査されるように前記自己計測用原版載置ステージと前記パターン形成部材との少なくとも一方を移動させる移動制御装置と；を更に備えることとすることができる。

【0015】上記請求項1及び2に記載の各露光装置において、前記自己計測用原版載置ステージは、請求項3に記載の露光装置の如く、前記自己計測用原版載置ステージは、前記所定のパターンが形成されたマスクが載置されるマスクステージであることとすることができる。

【0016】この場合において、請求項4に記載の露光装置の如く、前記基板が載置されるとともに、基準マー

クが設けられた基板ステージと；前記マスクステージ上に存在するマークを観察する観察顕微鏡と；前記基板をロット単位で露光する際に、各ロット先頭の基板の露光時には、前記自己計測用原版、前記空間像計測器、及び前記駆動装置を用いて前記自己計測用原版上の計測マークの空間像計測を行い、その計測結果に基づいて前記投影光学系の倍率を算出するとともに、前記各ロット内の先頭以外の基板の露光時には、自己計測用原版及び前記マスクの一方のマークと、前記基板ステージ上の基準マークの投影光学系を介した像とを前記観察顕微鏡を用いて観察し、その観察結果に基づいて前記投影光学系の倍率を算出する制御装置と；を更に備えることとすることができる。

【0017】上記請求項1及び2に記載の各露光装置において、請求項5に記載の発明の如く、前記自己計測用原版は、前記所定のパターンが形成されたマスクであることとすることができる。

【0018】上記請求項1～5に記載の各露光装置において、請求項6に記載の露光装置の如く、前記自己計測用原版に形成された計測マークには、前記投影光学系のディストーション計測マーク、ベストフォーカス計測用の繰り返しマーク、ベストフォーカス計測用の疑似孤立線マーク、前記基板との重ね合せ誤差計測用のアライメントマークの少なくとも1つが含まれることとすることができる。

【0019】上記請求項1～5に記載の各露光装置において、請求項7に記載の露光装置の如く、前記自己計測用原版に形成された計測マークには、孤立線マークと、所定のピッチを有するラインアンドスペースマークとが含まれることとすることができる。

【0020】請求項8に記載の光学特性計測方法は、投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、前記投影光学系の有効視野内の第1の検出点に計測マークを位置させてその計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する第1位置で前記空間像に対して計測用パターンを相対的に走査して前記計測用パターンを介した光を光電変換して前記空間像に対応する光強度分布を計測する工程と；前記投影光学系の有効視野内の第2の検出点に計測マークと同一又は異なる計測マークを位置させてその計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する第2位置で前記空間像に対して前記計測用パターンを相対的に走査して前記計測用パターンを介した光を光電変換して前記空間像に対応する光強度分布を計測する工程と；前記計測用パターンが前記光軸方向の第1位置にあるときの前記空間像の計測結果から得られる前記空間像の前記光軸に直交する面内の結像位置と、前記計測用パターンが前記光軸方向の第2位置にあるときの前記空間像の計測結果から得られる前記空間像の前記光軸に直交する面内の結像位置との相対位置関係を求め、該相対位置関係から前記

投影光学系のテレセントリシティを算出する工程と；を含む。

【0021】これによれば、投影光学系の有効視野内の第1の検出点に位置させた計測マークの空間像を光軸方向の第1位置に対応する面内で計測した計測結果から得られる空間像の光軸に直交する面内の結像位置（以下、「第1の結像位置」と呼ぶ）と、投影光学系の有効視野内の第2の検出点に位置させた計測マークの空間像を光軸方向の第2位置に対応する面内で計測した計測結果から得られる空間像の光軸に直交する面内の結像位置（以下、「第2の結像位置」と呼ぶ）との相対位置関係、すなわち光軸直交面内での第1の結像位置と第2の結像位置との相対距離、及び光軸方向の第1位置と第2位置との距離に基づいて、投影光学系のテレセントリシティを算出するので、例えば第1の結像位置、第2の結像位置の計測に際し、レーザ干渉計等の計測値を用いていた場合に、レーザ干渉計にドリフト等が生じていても第1の結像位置、第2の結像位置の計測結果には同等の誤差が含まれる結果、干渉計ドリフトなどに起因する計測誤差の影響の殆どないテレセントリシティの高精度な計測が可能となる。

【0022】請求項9に記載のデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、前記リソグラフィ工程では、請求項1～7のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とする。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を図1～図16に基づいて説明する。図1には、一実施形態に係る露光装置100の概略的な構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパである。

【0024】この露光装置100は、光源及び照明光学系を含む照明系10、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWを保持してXY平面内を自在に移動可能な基板ステージとしてのウエハステージWST、及びこれらを制御する制御系等を備えている。

【0025】前記照明系10は、光源、照度均一化光学系（コリメータレンズ、フライアイレンズ等から成る）、照明系開口絞り板（通常照明用の円形の開口絞り、小 $\sigma$ 照明用の小 $\sigma$ 絞り、輪帯照明用の輪帯絞り、変形照明用の四重極絞り等がほぼ等角度間隔で形成されている）、リレーレンズ系、照明視野絞りとしてのレチクルブラインド及びコンデンサレンズ系等（いずれも図1では図示省略）を含んで構成されている。

【0026】前記光源としては、ここでは、一例として、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）又はArFエキシマレーザ光（波長193nm）を出力するエキシマレーザ光源が用いられるものとする。

【0027】前記レチクルブラインドは、開口形状が固定の不図示の固定レチクルブラインドと開口形状が可変の可動レチクルブラインド12（図1では図示省略、図2参照）とから構成されている。固定レチクルブラインドは、レチクルRのパターン面の近傍又はその共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の長方形スリット状の照明領域（図1における紙面直交方向であるX軸方向に細長く伸び図1における紙面内左右方向であるY軸方向の幅が所定幅の長方形スリット状の照明領域）IARを規定する長方形開口が形成されている。また、可動レチクルブラインド12は、レチクルRのパターン面に対する共役面に配置され、走査露光時の走査方向（ここでは、Y軸方向とする）及び非走査方向（X軸方向とする）にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変の開口部を有する。但し、図2及び図3では説明を簡単にするために、可動レチクルブラインド12がレチクルRに対して照明系側近傍に配置されているように示されている。

【0028】照明系10によると、光源で発生した露光光としての照明光（以下、「照明光IL」と呼ぶ）は不図示のシャッタを通過した後、照度均一化光学系により照度分布がほぼ均一な光束に変換される。照度均一化光学系から射出された照明光ILは、照明系開口絞り板上のいずれか開口絞り、リレーレンズ系を介して前記レチクルブラインドに達する。このレチクルブラインドを通過した光束は、リレーレンズ系、コンデンサレンズ系を通過して回路パターン等が描かれたレチクルRの照明領域IARを均一な照度で照明する。

【0029】なお、可動レチクルブラインド12は、走査露光の開始時及び終了時に主制御装置20によって制御され、照明領域IARを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。また、本実施形態では、可動レチクルブラインド12が、後述する空間像計測器による空間像の計測の際の照明領域の設定にも用いられる。

【0030】前記レチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着（又は静電吸着）により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等を含む不図示のレチクルステージ駆動系により、後述する投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で2次元的に（X軸方向、Y軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向（ $\theta_z$ 方向）に）微少駆動可能であるとともに、レチクルベース26上をY軸方向に指定された走査速度で移動可能となっている。このレチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも投影光学系PLの光軸AXを横切ることができるだけのY軸方向の移動ストロークを有している。

【0031】レチクルステージRSTの-Y側端部近傍には、自己計測用原版としてのレチクルフィデュシャルマーク板（以下、「レチクルマーク板」と略述する）

RFMがX軸方向に沿ってかつレチクルRと並んで配置されている。このレチクルマーク板RFMは、レチクルRと同材質のガラス素材、例えば合成石英やホタル石、フッ化リチウムその他のフッ化物結晶などから成り、レチクルステージRSTに固定されている。なお、このレチクルマーク板RFMの具体的構成等については後述する。レチクルステージRSTは、レチクルRの全面とレチクルマーク板RFMの全面とが少なくとも投影光学系PLの光軸AXを横切ることができる程度のY軸方向の移動ストロークを有している。

【0032】また、レチクルステージRSTには、レチクルR及びレチクルマーク板RFMの下方に、照明光ILの通路となる開口がそれぞれ形成されている。また、レチクルベース26の投影光学系PLのほぼ真上の部分には、照明光ILの通路となる、照明領域IARより大きな長方形の開口が形成されている。

【0033】レチクルステージRST上には、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）13からのレーザビームを反射する移動鏡15が固定されており、レチクルステージRSTのXY面内の位置（Z軸回りの回転方向である $\theta_z$ 方向の回転を含む）はレチクル干渉計13によって、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査露光時の走査方向（Y軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向（X軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、レチクル干渉計13はY軸方向に少なくとも2軸、X軸方向に少なくとも1軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡15、レチクル干渉計13として示されている。

【0034】レチクル干渉計13からのレチクルステージRSTの位置情報は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）から成る主制御装置20に送られ、主制御装置20ではレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動系を介してレチクルステージRSTを駆動制御する。

【0035】また、レチクルRの上方には、投影光学系PLを介してレチクルR上又はレチクルマーク板RFM上のマークとウエハステージWST上の後述する基準マーク板FM上の基準マークとを同時に観察するための露光波長を用いたTTR（Through The Reticle）アライメント系から成る観察顕微鏡としての一对のレチクルアライメント顕微鏡（以下、便宜上「RA顕微鏡」と呼ぶ）28が（但し、図1においては紙面奥側のRA顕微鏡は不図示）が設けられている。これらのRA顕微鏡28の検出信号は、不図示のアライメント制御装置を介して、主制御装置20に供給されるようになっている。この場合、レチクルRからの検出光をそれぞれのRA顕微鏡28に導くための不図示の偏向ミラーが移動自在に配置され、露光シーケンスが開始されると、主制御装置2

0からの指令のもとで、不図示のミラー駆動装置により偏向ミラーが待避される。なお、RA顕微鏡28と同等の構成は、例えば特開平7-176468号公報等に開示されており、公知であるからここでは詳細な説明は省略する。

【0036】前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小系であり、光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLの投影倍率は、例えば1/4倍（又は1/5倍）等となっている。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルR上のスリット状照明領域IARが照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してそのスリット状照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にフォトレジストが塗布されたウエハW上の前記照明領域IARに共役な露光領域IAに形成される。

【0037】前記ウエハステージWSTは、ステージベース16上面に沿って例えば磁気浮上型2次元リニアアクチュエータから成る不図示のウエハステージ駆動系により、XY2次元面内（ $\theta z$ 回転を含む）で自在に駆動されるようになっている。ここで、2次元リニアアクチュエータは、X駆動コイル、Y駆動コイルの他、Z駆動コイルをも有しているため、ウエハステージWSTは、Z、 $\theta x$ （X軸回りの回転方向）、 $\theta y$ （Y軸回りの回転方向）の3自由度方向にも微少駆動が可能な構成となっている。

【0038】ウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置され、このウエハホルダ25によってウエハWが真空吸着（又は静電吸着）によって保持されている。また、ウエハステージWST上には、ベースライン計測用基準マーク、レチクルアライメント用の基準マーク（この基準マークは後述する倍率測定の際にも用いられる）、その他の基準マークが形成された基準マーク板FMが固定されている。この基準マーク板FMの表面はウエハWとほぼ同一高さとしてされている。

【0039】なお、ウエハステージWSTに代えて、リニアモータあるいは平面モータ等の駆動系によってXY2次元面内でのみ駆動される2次元移動ステージを用いる場合には、ウエハホルダ25を、Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$ の3自由度方向に例えばボイスコイルモータ等によって微少駆動されるZ・レベリングテーブルを介してその2次元移動ステージ上に搭載すれば良い。

【0040】前記ウエハステージWST上には、ウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）31からのレーザビームを反射する移動鏡27が固定され、外部に配置されたウエハ干渉計31により、ウエハステージWSTのZ方向を除く5自由度方向（X、Y、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 、 $\theta z$ 、

$\theta x$ 、及び $\theta z$ 方向）の位置が例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。

【0041】ここで、実際には、ウエハステージWST上には、走査露光時の走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向であるX軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、ウエハ干渉計31はY軸方向及びX軸方向にそれぞれ複数軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡27、ウエハ干渉計31として示されている。ウエハステージWSTの位置情報（又は速度情報）は主制御装置20に送られ、主制御装置20では前記位置情報（又は速度情報）に基づいて不図示のウエハステージ駆動系を介してウエハステージWSTのXY面内の位置を制御する。

【0042】また、ウエハステージWSTの内部には、投影光学系PLの光学特性の計測に用いられる空間像計測器59を構成する光学系の一部が配置されている。ここで、空間像計測器59の構成について詳述する。この空間像計測器59は、図2に示されるように、ウエハステージWSTに設けられたステージ側構成部分、すなわちパターン形成部材としてのスリット板90、レンズ84、86から成るリレー光学系、光路折り曲げ用のミラー88、送光レンズ87と、ウエハステージWST外部に設けられたステージ外構成部分、すなわちミラーM、受光レンズ89、光電変換素子としての光センサ24、及び該光センサ24からの光電変換信号の信号処理回路42等とを備えている。

【0043】これを更に詳述すると、スリット板90は、図2に示されるように、ウエハステージWSTの一端部上面に設けられた上部が開口した突設部58aに対し、その開口を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれている。このスリット板90は、平面視長方形の受光ガラス82の上面に遮光膜を兼ねる反射膜83が形成され、その反射膜83の一部に計測用パターンとしての所定幅（2D）のスリット状の開口パターン（以下、「スリット」と呼ぶ）22がパターンニングされて形成されている。

【0044】前記受光ガラス82の素材としては、ここでは、KrFエキシマレーザ光、あるいはArFエキシマレーザ光の透過性の良い、合成石英、あるいはホタル石などが用いられる。

【0045】スリット22下方のウエハステージWST内部には、スリット22を介して鉛直下向きに入射した照明光束（像光束）の光路を水平に折り曲げるミラー88を介在させてレンズ84、86から成るリレー光学系（84、86）が配置され、このリレー光学系（84、86）の光路後方のウエハステージWSTの+Y側の側壁に、リレー光学系（84、86）によって所定光路長分だけリレーされた照明光束をウエハステージWSTの外部に送光する送光レンズ87が固定されている。

【0046】送光レンズ87によってウエハステージWSTの外部に送り出される照明光束の光路上には、X軸



方向に所定長さを有するミラーMが傾斜角45°で斜設されている。このミラーMによって、ウエハステージWSTの外部に送り出された照明光束の光路が鉛直上方に向けて90°折り曲げられるようになっている。この折り曲げられた光路上に送光レンズ87に比べて大径の受光レンズ89が配置されている。この受光レンズ89の上方には、光センサ24が配置されている。これら受光レンズ89及び光センサ24は、所定の位置関係を保ってケース92内に収納され、該ケース92は取付け部材93を介してベース16の上面に植設された支柱94の上端部近傍に固定されている。

【0047】前記光センサ24としては、微弱な光を精度良く検出することが可能な光電変換素子（受光素子）、例えばフォト・マルチプライヤ・チューブ（PMT、光電子増倍管）などが用いられる。光センサ24の出力信号を処理する信号処理回路42は、増幅器、サンプルホルダ、A/Dコンバータ（通常16ビットの分解能のものが用いられる）などを含んで構成される。

【0048】なお、前述の如く、スリット22は反射膜83に形成されているが、以下においては、便宜上スリット板90にスリット22が形成されているものとして説明を行う。なお、スリット22の配置、及び寸法については、後述する。

【0049】上述のようにして構成された空間像計測器59によると、レチクルR又はレチクルマーク板RFMに形成された計測マークの投影光学系PLを介しての投影像（空間像）の計測（これについては後述する）の際に、投影光学系PLを透過してきた照明光ILによってスリット板90が照明されると、そのスリット板90上のスリット22を透過した照明光ILがレンズ84、ミラー88及びレンズ86、送光レンズ87を介してウエハステージWSTの外部に導き出される。そして、そのウエハステージWSTの外部に導き出された光は、ミラーMによって光路が鉛直上方に折り曲げられ、受光レンズ89を介して光センサ24によって受光され、該光センサ24からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）が信号処理回路42を介して主制御装置20に出力される。

【0050】本実施形態の場合、計測マークの投影像（空間像）の計測はスリットスキャン方式により行われるので、その際には、送光レンズ87が、受光レンズ89及び光センサ24に対して移動することになる。そこで、空間像計測器59では、所定の範囲内で移動する送光レンズ87を介した光がすべて受光レンズ89に入射するように、各レンズ、及びミラーMの大きさが設定されている。

【0051】このように、空間像計測器59では、スリット板90、レンズ84、86、ミラー88、及び送光レンズ87により、スリット22を介した光をウエハステージWST外に導出する光導出部が構成され、受光レ

ンズ89及び光センサ24によって、ウエハステージWST外へ導出された光を受光する受光部が構成されている。この場合、これら光導出部と受光部とは、機械的に分離されている。そして、空間像計測に際してのみ、光導出部と受光部とは、ミラーMを介して光学的に接続される。

【0052】すなわち、空間像計測器59では、光センサ24がウエハステージWSTの外部の所定位置に設けられているため、光センサ24の発熱に起因してレーザ干渉計31の計測精度等に悪影響を与えたりすることがない。また、ウエハステージWSTの外部と内部とをライトガイド等により接続していないので、ウエハステージWSTの外部と内部とがライトガイドにより接続された場合のようにウエハステージWSTの駆動精度が悪影響を受けることもない。

【0053】勿論、熱の影響を排除できるような場合には、光センサ24をウエハステージWSTの内部に設けても良い。なお、空間像計測器59を用いて行われる空間像計測方法、光学特性計測方法などについては、後に詳述する。

【0054】図1に戻り、投影光学系PLの側面には、ウエハW上のアライメントマーク（位置合わせマーク）を検出するマーク検出系としてのオフアクシス・アライメント系ALGが設けられている。本実施形態では、このアライメント系ALGとして、画像処理方式のアライメントセンサ、いわゆるFIA（Field Image Alignment）系が用いられている。このアライメント系ALGは、図2に示されるように、アライメント用光源32、ハーフミラー34、第1対物レンズ36、第2対物レンズ38、撮像素子（CCD）40等を含んで構成されている。ここで、光源32としては、ブロードバンドの照明光を出射するハロゲンランプ等が用いられる。このアライメント系ALGでは、図3に示されるように、光源32からの照明光により、ハーフミラー34、第1対物レンズ36を介してウエハW上のアライメントマークMwを照明し、そのアライメントマーク部分からの反射光を第1対物レンズ36、ハーフミラー34、第2対物レンズ38を介して撮像素子40で受光する。これにより、撮像素子の受光面にアライメントマークMwの明視野像が結像される。そして、この明視野像に対応する光電変換信号、すなわちアライメントマークMwの反射像に対応する光強度信号が撮像素子40から不図示のアライメント制御装置を介して主制御装置20に供給される。主制御装置20では、この光強度信号に基づき、アライメント系ALGの検出中心を基準とするアライメントマークMwの位置を算出するとともに、その算出結果とそのときのウエハ干渉計31の出力であるウエハステージWSTの位置情報とに基づいて、ウエハ干渉計31の光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークMwの座標位置を算出するようになっている。

【0055】更に、本実施形態の露光装置100では、図1に示されるように、主制御装置20によってオンオフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホール又はスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光系60bとから成る斜入射光式の多点焦点位置検出系が設けられている。主制御装置20では、投影光学系PLにフォーカス変動が生じた場合には、受光系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動に応じて多点焦点位置検出系

(60a、60b)にオフセットを与えてそのキャリブレーションを行うようになっている。なお、本実施形態の焦点位置検出系(60a、60b)と同様の多点焦点位置検出系の詳細な構成は、例えば特開平6-283403号公報等に開示されている。

【0056】主制御装置20では、後述する走査露光時等に、受光系60bからの焦点ずれ信号(デフォーカス信号)、例えばSカーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるように、不図示のウエハステージ駆動系を介してウエハステージWSTのZ軸方向への移動、及び2次元点に傾斜(すなわち、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の回転)を制御する、すなわち多点焦点位置検出系(60a、60b)を用いてウエハステージWSTの移動を制御することにより、照明光ILの照射領域(照明領域IARと結像関係)内で投影光学系PLの結像面とウエハWの表面とを実質的に合致させるオートフォーカス(自動焦点合わせ)及びオートレベリングを実行する。

【0057】次に、本実施形態の露光装置100における露光工程の動作について簡単に説明する。

【0058】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTに吸着保持される。次いで、主制御装置20により、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置が制御され、レチクルR上に形成された不図示のレチクルアライメントマークの投影像(空間像)が空間像計測器59を用いて後述するようにして計測され、レチクルパターン像の投影位置が求められる。すなわち、レチクルアライメントが行われる。なお、レチクルアライメントは、前述した一対のRA顕微鏡28により、レチクルR上の一対のレチクルアライメントマーク(不図示)の像とウエハステージWST上の基準マーク板FMに形成されたレチクルアライメント用基準マークの投影光学系PLを介した像とを同時に観察し、両マーク像の相対位置関係と、そのときのレチクル干渉計13及びウエハ干渉計31の計測値とに基づいてレチクルパターン像の投影位置を求めることにより行っても良い。

【0059】次に、主制御装置20により、スリット板

90がアライメント系ALGの直下へ位置するように、ウエハステージWSTが移動され、アライメント系ALGによって空間像計測器59の位置基準となるスリット22が検出される。主制御装置20では、このアライメント系ALGの検出信号及びそのときのウエハ干渉計31の計測値、並びに先に求めたレチクルパターン像の投影位置に基づいて、レチクルRのパターン像の投影位置とアライメント系ALGとの相対位置、すなわちアライメント系ALGのベースライン量を求める。

【0060】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置20により、例えば特開昭61-44429号公報などに詳細に開示されるEGA(エンハンスド・グローバル・アライメント)等のウエハアライメントが行われ、ウエハW上の全てのショット領域の位置が求められる。なお、このウエハアライメントに際して、ウエハW上の複数のショット領域のうちの予め定められた所定のサンプルショットのウエハアライメントマークMwがアライメント系ALGを用いて、前述した如くして計測される(図3参照)。

【0061】次いで、主制御装置20では、上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報及びベースライン量に基づいて、干渉計31、13からの位置情報をモニタしつつ、ウエハステージWSTを第1ショット領域の走査開始位置に位置決めするとともに、レチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショット領域の走査露光を行う。

【0062】すなわち、主制御装置20では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとのY軸方向逆方向きの相対走査を開始し、両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、照明光ILによってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光が開始される。この走査露光の開始に先立って、光源の発光は開始されているが、主制御装置20によって可動レチクルブラインド12の各ブレードの移動がレチクルステージRSTの移動と同期制御されているため、レチクルR上のパターン領域外への露光光ELの照射が遮光されることは、通常のスキャニング・ステップと同様である。

【0063】主制御装置20では、特に上記の走査露光時にレチクルステージRSTのY軸方向の移動速度 $V_r$ とウエハステージWSTのX軸方向の移動速度 $V_w$ とが投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比に維持されるようにレチクルステージRST及びウエハステージWSTを同期制御する。

【0064】そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が照明光ILで逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウエハW上の第1ショット領域の走査露光が終了する。これにより、レチクルRの回路パターンが投影光学系PLを介して第1ショット領域に縮小転写される。



【0065】こうして第1ショット領域の走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショット領域の走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショット領域の走査露光を上述と同様にして行う。以後、第3ショット領域以降も同様の動作を行う。

【0066】このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。

【0067】ここで、上記の走査露光中には、投影光学系PLに一体的に取付けられたフォーカスセンサ(60a、60b)を用いて、前述したオートフォーカス、オートレベリングが行われる。

【0068】ところで、上記の走査露光中に、レチクルRのパターンとウエハW上のショット領域に既に形成されたパターンとが正確に重ね合わせられるためには、投影光学系PLの結像特性やベースライン量が正確に計測されていること、及び投影光学系PLの結像特性が所望の状態に調整されていることなどが重要である。

【0069】本実施形態では、上記の結像特性の計測に、前述した空間像計測器59が用いられる。以下、この空間像計測器59による空間像計測、及び投影光学系PLの結像特性の計測等について詳述する。

【0070】図2には、空間像計測器59を用いて、レチクルマーク板RFMに形成された計測マークPMの空間像が計測されている最中の状態が示されている。なお、レチクルマーク板RFMに代えて、空間像計測専用のレチクル、あるいはデバイスの製造に用いられるレチクルRに専用の計測マークを形成したものなどを用いることも可能である。

【0071】ここで、空間像計測の説明に先立って、レチクルマーク板RFMについて、図4及び図5に基づいて説明する。

【0072】次に、レチクルマーク板RFMについて説明する。図4には、レチクルステージRST上に固定されたレチクルマーク板RFMが取り出して示されている。この図4は、図1における底面図に相当する。

【0073】このレチクルマーク板RFMは、Y軸方向(走査方向)の長さが例えば約16mm(投影倍率が1/4倍としてウエハ上で4mm)、X軸方向(非走査方向)の長さが例えば約150mmである。このレチクルマーク板RFMの非スキャン方向(X軸方向)の両端部を除く中央部約100mm(投影倍率が1/4倍としてウエハ上で25mm)の領域が照明光ILが照射可能な有効照射領域IAFとなっている。この有効照射領域IAFのX軸方向の両端部(斜線部の領域)に前述した一対のRA顕微鏡28により、観察可能なレチクルアライメントマーク(不図示)が形成されている。

【0074】また、有効照射領域IAFのX軸方向中心

のY軸方向両端部には、約1mm角の他マーク禁止領域のガラス部分(抜き領域)を設け、該抜き領域の内部にクロム等により回転調整マークPM $\theta_1$ 、PM $\theta_2$ が形成されている。また、有効照射領域IAFのY軸方向のほぼ中央部には、X軸方向に沿って所定間隔、例えば4mm間隔(投影倍率が1/4倍としてウエハ上で1mm間隔)で複数のAISマークブロック62<sub>1</sub>が配置されている。また、これらの4mm間隔で配置されたAISマークブロック62<sub>1</sub>の他、多点焦点位置検出系(60a、60b)の結像光束の照射点に対応する投影光学系PLの有効視野内の検出点に位置決め可能な位置にも、AISマークブロック62<sub>2</sub>が配置されている。このため、本実施形態では、例えば投影光学系PLの像面形状の計測や、多点焦点位置検出系(60a、60b)の各センサの出力に対するオフセット設定や原点位置(検出基準位置)の再設定等のキャリブレーションのための計測を、空間像計測により行う際に、スリット板90のスリット22中心で投影光学系PLの光軸方向位置(Z位置)を計測することが可能となる。従って、スリット板90の面精度の設定を緩やかにすることができる。なお、以下においては、特に必要な場合を除き、AISマークブロック62<sub>1</sub>、AISマークブロック62<sub>2</sub>を、特に区別することなく、AISマークブロック62と表示する。

【0075】レチクルマーク板RFMでは、AISマークブロック62は、走査方向(Y軸方向)には、1行しか設けられていないが、投影光学系PLのスキャン方向の各点を検出点として空間像計測を行う場合には、レチクルステージRSTを移動して行えば良い。

【0076】次に、各AISマークブロック62内のマーク配置の一例について図5に基づいて説明する。図5には、AISマークブロック62が拡大して示されている。この図5に示されるように、AISマークブロック62内には、ネガ型アライメントマーク・サブブロック63a<sub>1</sub>、63a<sub>2</sub>、ポジ型アライメントマーク・サブブロック63b<sub>1</sub>、63b<sub>2</sub>、ネガ型ラインアンドスペースマーク・サブブロック64a、ポジ型ラインアンドスペースマーク・サブブロック64b、ネガ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65a<sub>1</sub>、65a<sub>2</sub>、ポジ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65b<sub>1</sub>、65b<sub>2</sub>、ネガ型1次元ボックスマーク・サブブロック66a<sub>1</sub>、66a<sub>2</sub>、ポジ型1次元ボックスマーク・サブブロック66b<sub>1</sub>、66b<sub>2</sub>、ネガ型追加マーク・サブブロック67a、ポジ型追加マーク・サブブロック67b等が設けられている。なお、以下においては、ラインアンドスペースは、L/Sと略述する。

【0077】前記ネガ型L/Sマーク・サブブロック64a内には、例えば線幅0.4 $\mu$ m~4.0 $\mu$ mまでのデューティ比1:1のL/Sマークから成るネガマークPM<sub>1</sub>が配置されている。ここで、ネガマークとは、ク

ロム層に形成された開口パターンから成るマークを意味する。この他、このネガ型L/Sマーク・サブブロック64a内には、応用計測マークとして線幅異常測定用のネガマークPM<sub>2</sub>も配置されている。この線幅異常測定用のネガマークPM<sub>2</sub>は、例えば線幅0.4μm~0.8μmのデューティ比1:1のL/Sマークが80μmピッチで並んでいるネガマークである。各L/Sマークとしては、周期方向がX軸方向のものとY軸方向のものが設けられている。

【0078】前記ネガ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65a<sub>1</sub>内には、周期方向をX軸方向とする異なる線幅のデューティ比1:1のL/Sマークから成るネガマークPM<sub>3</sub>が一定間隔で配置されている。ネガ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65a<sub>2</sub>内には、周期方向をY軸方向とする異なる線幅のデューティ比1:1のL/Sマークから成るネガマークPM<sub>4</sub>が一定間隔で配置されている。

【0079】前記ネガ型1次元ボックスマーク・サブブロック66a<sub>1</sub>内には、例えば線幅40μm程度の太いラインパターンと、例えば線幅0.4~0.56μm程度の細いラインパターンがX軸方向に所定間隔(例えば、40μm程度)で並んだ1次元マークから成るネガマークPM<sub>5</sub>が配置されている。また、前記ネガ型1次元ボックスマーク・サブブロック66a<sub>2</sub>内には、マークPM<sub>5</sub>と同様に構成され配列方向をY軸方向とするネガマークPM<sub>6</sub>が配置されている。

【0080】前記ネガ追加マーク・サブブロック67a内には、いろいろな線幅のデューティ比が1:1以外のL/Sマーク、例えばデューティ比1:9以上の擬似凝立線マークPM<sub>7</sub>や、楔型マーク(SMPマーク)PM<sub>8</sub>、その他孤立線等のネガマークが配置されている。これらのマークPM<sub>7</sub>、PM<sub>8</sub>も配列方向がX軸方向のものとY軸方向のものが設けられている。

【0081】前記ネガ型アライメントマーク・サブブロック63a<sub>1</sub>内には、例えば配列方向がX軸方向の線幅24μmのデューティ比1:1のL/Sマークから成るネガマーク(FIAマーク)PM<sub>9</sub>が配置されている。また、ネガ型アライメントマーク・サブブロック63a<sub>2</sub>内には、例えば配列方向がY軸方向の線幅24μmのデューティ比1:1のL/Sマークから成るネガマーク(FIAマーク)PM<sub>10</sub>が配置されている。

【0082】前記ポジ型L/Sマーク・サブブロック64b内には、例えば線幅0.4μm~4.0μmまでのデューティ比1:1のL/Sマークから成るポジマークPM<sub>11</sub>が配置されている。ここで、ポジマークとは、所定面積の他マーク禁止領域のガラス部分(抜き領域)内にクロム等のパターンで形成されたマークを意味する。この他、このポジ型L/Sマーク・サブブロック64b内には、応用計測マークとして線幅異常測定用のポジマークPM<sub>12</sub>も配置されている。各L/Sマークとして

は、周期方向がX軸方向のものとY軸方向のものが設けられている。

【0083】前記ポジ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65b<sub>1</sub>内には、周期方向をX軸方向とする異なる線幅のデューティ比1:1のL/Sマークから成るポジマークPM<sub>13</sub>が一定間隔で配置されている。ポジ型シーケンシャルコママーク・サブブロック65b<sub>2</sub>内には、周期方向をY軸方向とする異なる線幅のデューティ比1:1のL/Sマークから成るポジマークPM<sub>14</sub>が一定間隔で配置されている。

【0084】前記ポジ型1次元ボックスマーク・サブブロック66b<sub>1</sub>内には、例えば線幅40μm程度の太いラインパターンと、例えば線幅0.4~0.56μm程度の細いラインパターンがX軸方向に所定間隔(例えば、40μm程度)で並んだ1次元マークから成るポジマークPM<sub>15</sub>が配置されている。また、前記ポジ型1次元ボックスマーク・サブブロック66b<sub>2</sub>内には、マークPM<sub>15</sub>と同様に構成され配列方向をY軸方向とするポジマークPM<sub>16</sub>が配置されている。

【0085】前記ポジ型追加マーク・サブブロック67b内には、いろいろな線幅のデューティ比が1:1以外のL/Sマーク、例えばデューティ比1:9以上の擬似凝立線マークPM<sub>17</sub>や、楔型マーク(SMPマーク)PM<sub>18</sub>、その他孤立線等のポジマークが配置されている。これらのマークPM<sub>17</sub>、PM<sub>18</sub>等も配列方向がX軸方向のものとY軸方向のものが設けられている。

【0086】前記ポジ型アライメントマーク・サブブロック63b<sub>1</sub>内には、例えば配列方向がX軸方向の線幅24μmのデューティ比1:1のL/Sマークから成るポジマーク(FIAマーク)PM<sub>19</sub>が配置されている。また、ポジ型アライメントマーク・サブブロック63b<sub>2</sub>内には、例えば配列方向がY軸方向の線幅24μmのデューティ比1:1のL/Sマークから成るポジマーク(FIAマーク)PM<sub>20</sub>が配置されている。

【0087】この他、AISマークブロック62内には、120μm角(投影倍率1/4でウエハ面上では30μm角)の正方形マークから成るネガマーク(BOXマーク)PM<sub>21</sub>、Line in BoxマークPM<sub>22</sub>(これについては更に後述する)なども配置されている。

【0088】ここで、空間像計測器59を用いた空間像計測の方法について簡単に説明する。前提としてスリット板90には、例えば図6(A)に示されるように、X軸方向に伸びる所定幅2Dのスリット22が形成されているものとする。

【0089】空間像の計測に当たり、主制御装置20により、可動レチクルブラインド12が不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、図2に示されるように、レチクルRの照明光ILの照明領域が計測マークPMを含む所定領域のみに制限される。ここで、計測マークPMとしては、Y軸方向に周期性を有するデューティ比

1:1のL/Sマーク、例えば前述したマークPM<sub>1</sub>などが用いられるものとする。

【0090】この状態で、照明光ILがレチクルマーク板RFMに照射されると、図2に示されるように、計測マークPMによって回折、散乱した光(照明光IL)は投影光学系PLにより屈折され、該投影光学系PLの像面に計測マークPMの空間像(投影像)PM'が形成される。このとき、ウエハステージWSTは、空間像計測器59のスリット板90上のスリット22の+Y側(又は-Y側)に前記空間像PM'が形成される位置に設定されているものとする。このときの空間像計測器59の平面図が図6(A)に示されている。

【0091】そして、主制御装置20により、ウエハステージ駆動系を介してウエハステージWSTが図6

(A)中に矢印Fで示されるように+Y方向に駆動されると、スリット22が空間像PM'に対してY軸方向に走査される。この走査中に、スリット22を通過する光(照明光IL)がウエハステージWST内の光導出部、ミラーM、受光レンズ89を介して光センサ24で受光され、その光電変換信号が信号処理回路42を介して主制御装置20に供給される。主制御装置20では、その光電変換信号に基づいて空間像PM'に対応する光強度分布を計測する。

【0092】図6(B)には、上記の空間像計測の際に得られる光電変換信号(光強度信号)Pの一例が示されている。

【0093】この場合、空間像PM'はスリット22の走査方向(Y軸方向)の幅(2D)の影響で像が平均化する。

【0094】従って、スリットをp(y)、空間像の強度分布をi(y)、観測される光強度信号をm(y)とすると、空間像の強度分布i(y)と観測される強度信号m(y)の関係は次の(1)式で表すことができる。この(1)式において、強度分布i(y)、強度信号m(y)の単位は単位長さ当たりの強度とする。

【0095】

【数1】

$$m(y) = \int_{-\infty}^{\infty} p(y-u) \cdot i(u) du \quad \dots(1)$$

【0096】

【数2】

$$p(y) = \begin{cases} 1(|y| \leq D) \\ 0(|y| > D) \end{cases} \quad \dots(2)$$

すなわち、観測される強度信号m(y)はスリットp(y)と空間像の強度分布i(y)のコンボリューションになる。

【0097】従って、計測精度の面からは、スリットの走査方向の幅(以下、単に「スリット幅」と呼ぶ)2Dは小さい程良い。本実施形態のようにPMTを光センサ

24として用いる場合には、スリット幅が非常に小さくなくても走査速度を遅くして計測に時間を掛ければ光量(光強度)の検出は可能である。しかしながら、現実には、スループットの面から空間像計測時の走査速度には、一定の制約があるため、スリット幅2Dがあまりにも小さいと、スリット22を透過する光量が小さくなり過ぎて、計測が困難となってしまう。

【0098】発明者がシミュレーション及び実験等により得た知見によれば、スリット幅2Dは、露光装置の解像限界ピッチ(デューティ比1:1のL/Sパターンのピッチ)の半分程度とすることが望ましい。

【0099】上述した空間像計測器を用いる空間像計測方法は、a. ベストフォーカス位置の検出、b. パターン像の結像位置の検出、c. アライメント顕微鏡ALCのベースライン計測等に用いられる。

【0100】本実施形態の露光装置100におけるc. ベースライン計測については既に説明したので、以下、上記a. ベストフォーカス位置の検出及びb. パターン像の結像位置の検出について説明する。

【0101】以下においては、空間像計測器59を構成するスリット板90上には、図7に示されるように、X軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット22aと、Y軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット22bとが形成されている。ここで、2Dは例えば0.3μmであり、Lは例えば16μmである。また、スリット22bはスリット22aの-X側に約4μm隔てて配置され、かつ+Y側に約4μm隔てて配置されている。また、ウエハステージWSTの内部の光導出部、ミラーM及び受光レンズを介して光センサ24によりスリット22a、22bのいずれを透過した光をも受光が可能になっているものとする。なお、以下では、特に必要が無い限り、スリット22a、22bを区別することなくスリット22と呼ぶ。

【0102】〈ベストフォーカス位置の検出〉このベストフォーカス位置の検出は、例えばA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面(像面)の検出及びB. 球面収差測定などの目的に用いられる。

【0103】本実施形態では、次のようにして投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行う。このベストフォーカス位置の検出には、例えば、レチクルマーク板RFM上のデューティ比1:1のL/Sマーク、例えばレチクルマーク板RFMのX軸方向中心に位置するAISマークブロック621内の線幅0.8μm(ウエハ上でライン幅0.2μm)のL/SネガマークPM<sub>1</sub>が、計測マークPMとして用いられる。

【0104】まず、主制御装置20では、投影光学系PLの有効視野(照明領域IARに対応)内でベストフォーカス位置を計測すべき所定地点(ここでは、投影光学系PLの光軸上)にレチクルマーク板RFM上の計測マークPM<sub>1</sub>を位置決めすべく、レチクルステージRSTを

移動する。

【0105】次に、主制御装置20では、照明光ILが計測マークPM<sub>i</sub>部分を含む所定領域のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を制限する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILを計測マークPM<sub>i</sub>に照射して、前述と同様にして、ウェハステージWSTをY軸方向に走査しながら計測マークPMの空間像計測を前述と同様にスリットスキャン方式により行う。

【0106】主制御装置20では、この空間像計測を、スリット板90のZ軸方向の位置（すなわち、ウェハステージWSTのZ位置）を所定ステップで変更しながら、複数回繰り返す、各回の光強度信号（光電変換信号）をメモリに記憶する。

【0107】そして、主制御装置20では、前記繰り返しにより得られた複数の光強度信号（光電変換信号）それぞれに基づいて得られる所定の評価量、例えば複数の光強度信号をそれぞれフーリエ変換した1次周波数成分と0次周波数成分の振幅比であるコントラストを求め、評価量としては、コントラストの他、波高値、マークピッチを周期とする正弦波の振幅又は面積比などを用いることができる。

【0108】次いで、主制御装置20では、それらの評価量のピークのスリット板90のZ軸方向の位置（Z座標）を、ベストフォーカス位置として決定する。

【0109】通常、ベストフォーカスの検出に際しては、スリット板90を、例えば0: 15 μmのピッチ間隔で、15段階（ステップ）程度変化させる。

【0110】ここで、図8を用いて上記のベストフォーカス位置検出の一例について説明する。この図8は、スリット板90を13段階（ステップ）でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラスト等の評価量の計測値（図8中の×印）を横軸をZ軸として示すものである。図8中に×印で示される13点の評価量の計測値に基づいて、4次程度の近似曲線Cを最小二乗法によって求める。この近似曲線Cと、適当な閾値（スレッシュホルドレベル）SLとの交点を求め、交点間の距離=2Bの中点をベストフォーカスに対応するZ座標値とする。

【0111】コントラスト、波高値、マークピッチを周期とする正弦波の振幅又は面積比などは、フォーカス位置（デフォーカス量）に応じて変化するので、投影光学系PLのベストフォーカス位置を精度良く、かつ容易に計測（決定）することができる。

【0112】なお、ベストフォーカス位置の計測に用いられる計測マークとしては、上述したデューティ比1:1のL/Sマークの他、孤立線又はピッチを線幅の10倍程度とした疑似孤立線、例えば前述したマークPM<sub>7</sub>などを用いることができる。

【0113】また、投影光学系PLの像面形状の検出

は、次のようにして行うことができる。

【0114】まず、主制御装置20では、投影光学系PLの有効視野内の複数点に、レチクルマーク板RFM上の各AISマークブロック62内の例えば計測マークPM<sub>1</sub>が配置されるようにレチクルステージRSTを移動する。

【0115】次に、主制御装置20では、各点の計測マークPM<sub>1</sub>を含む所定領域のみに照明光ILが照射されるように可動レチクルブラインド12によってその照明領域を制限して、各計測マークPM<sub>1</sub>に照明光ILを順次照射して上記各点でのベストフォーカス位置の検出を前述と同様にして行い、その結果をメモリに記憶する。

【0116】次いで、主制御装置20では、投影光学系PLの有効視野内の別の複数点に、レチクルマーク板RFM上の各AISマークブロック62内の例えば計測マークPM<sub>1</sub>が配置されるようにレチクルステージRSTを移動して、上記各点でのベストフォーカス位置の検出を前述と同様にして行い、その結果をメモリに記憶する。

【0117】そして、主制御装置50では、得られた各ベストフォーカス位置に基づいて、所定の統計的处理を行うことにより、投影光学系PLの像面形状を算出する。このとき、像面形状とは別に像面湾曲をも算出しても良い。なお、像面形状の計測に当たって、複数の計測マークを必ずしも用いる必要はなく、例えば単一の計測マークを投影光学系PLの有効視野内の複数の検出点に順次移動させつつ、上記のベストフォーカス位置の計測を繰り返しおこなっても良い。

【0118】なお、計測マークPMとして、X軸方向（又はサジタル方向）とY軸方向（又はメリジオナル方向）とにそれぞれ同一ピッチで配列される2つのL/Sパターンを用い、投影光学系PLの視野内の所定点でその2つのL/Sパターンに照明光ILを順次照射して上述したベストフォーカス位置の検出を行なうことで投影光学系PLの非点収差を計測することもできる。

【0119】以上により、前述したA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面（像面）の検出を行うことができる。

【0120】また、投影光学系PLの球面収差の検出は、次のようにして行うことができる。

【0121】すなわち、この球面収差の検出に際しては、例えば、レチクルマーク板RFMのX軸方向中心に位置するAISマークブロック62<sub>1</sub>内に、Y軸方向に所定距離隔てて配置された同一ライン幅で周期の異なる複数、例えば2つのY軸方向のL/Sマーク、具体的にはライン幅1 μmで周期が2 μmのY軸方向の第1のL/Sマーク、ライン幅1 μmで周期が4 μmのY軸方向の第2のL/Sマークが計測マークPMとして用いられる。

【0122】まず、主制御装置20では、例えば第1の

L/Sマークを投影光学系PLの光軸上に位置決めするため、レチクルステージRSTを移動する。そして、その光軸上に位置決めされた第1のL/Sマークの近傍のみに可動レチクルブラインド12を用いて照明領域を設定して、その第1のL/Sマークについて、上述したベストフォーカス位置の検出を行い、その結果をメモリに記憶する。

【0123】次に、主制御装置20では、第2のL/Sパターンが照明光により照明される位置まで、レチクルステージRSTを移動し、その第2のL/Sパターンについて、上述したベストフォーカス位置の検出を行い、その結果をメモリに記憶する。

【0124】そして、主制御装置20では、このようにして得られ、メモリ内に記憶されている各計測マークについてのベストフォーカス位置の差に基づいて、所定の

目的	焼き付け測定用マーク	空間像計測用マーク
C投影レンズ倍率・ディストーション測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク
D投影レンズコマ収差測定	Line in Box Mark、 L/Sマーク	Line in Box Mark、 L/Sマーク、大小L/Sマーク
E照明テレセン測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク

20

【0128】次に、投影光学系PLの倍率及びディストーション測定について説明する。この投影光学系PLの倍率及びディストーション測定に際しては、前述したレチクルマーク板RFM上の各AISマークブロック62内の120 $\mu$ m角（投影倍率1/4でウエハ面上では30 $\mu$ m角）のBOXマークPM<sub>21</sub>が計測マークPMとして用いられる。

【0129】まず、主制御装置20では、投影光学系PLの有効視野内の複数点にそれぞれ計測マークPM<sub>21</sub>が配置されるように、レチクルステージRSTを移動する。

【0130】次に、主制御装置20では、照明光ILが投影光学系PLの有効視野内の第1番目の検出点に位置する計測マークPM<sub>21</sub>を含む所定の領域部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を制御して照明領域を制限する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILを計測マークPM<sub>21</sub>に照射する。これにより、図9に示されるように、計測マークPM<sub>21</sub>の空間像PM<sub>21</sub>'、すなわちほぼ30 $\mu$ m角の正方形のパターン像が形成される。

【0131】そして、主制御装置20では、この空間像PM<sub>21</sub>'に対して、スリット板90上のスリット22aが、Y軸方向に走査されるようにウエハステージWSTを矢印A方向に駆動してスリットスキャン方式で空間像計測を行い、その光強度信号をメモリに記憶する。次いで、主制御装置20では、空間像PM<sub>21</sub>'に対して、スリット板90上のスリット22bが、X軸方向に走査されるようにウエハステージWSTを駆動してスリットスキャン方式で空間像計測を行い、その光強度信号をメモ

演算を行うことにより、球面収差を求める。

【0125】〈パターン像の結像位置の検出〉パターン像の結像位置の検出は、C. 投影光学系の倍率及びディストーション測定、D. 投影光学系のコマ収差測定、E. 投影光学系のテレセントリシティ（照明テレセン）測定のそれぞれの目的で行われる。

【0126】計測マークは目的によって様々である。分類すると次の表1のようになる。ここで、空間像計測に基づく、投影光学系の結像特性の計測結果は、前述した焼き付け法による結像特性の計測結果と基本的に一致することが望ましいので、表1では、焼き付け計測マークとともに空間像計測マーク（空間像計測マーク）が示されている。

【0127】

【表1】

りに記憶する。そして、主制御装置20では、得られた光強度信号に基づいて、例えば周知の位相検出の手法、あるいはスライス法を用いたエッジ検出の手法などにより、計測マークPM<sub>21</sub>の結像位置（X、Y座標位置）を求める。

【0132】同様に、主制御装置20では、投影光学系PLの有効視野内の第2番目以降の検出点にそれぞれ位置する計測マークPM<sub>21</sub>に対しても、計測マークPM<sub>21</sub>を含む所定領域のみに照明光ILが照射されるように可動レチクルブラインド12によってその照明領域を制限して、各点毎に前述したスリットスキャン方式により空間像計測を行い、得られた各点での計測マークの結像位置（X、Y座標位置）を求める。そして、主制御装置20では、得られた各検出点についての計測マークの（X、Y座標位置）に基づいて、投影光学系PLの倍率及びディストーションの少なくとも一方を算出する。

【0133】但し、単一の30 $\mu$ m角のパターン像PM<sub>21</sub>'をスリットスキャンしてもその像のエッジは2箇所しかなく、計測精度が十分得られない場合もある。このような場合は、コマ収差の影響を受けることが殆ど無い程度の大きなL/Sパターン、例えば4 $\mu$ m以上のライン幅のL/Sマーク（この空間像は、ライン幅1 $\mu$ mのL/Sマーク像となる）PM<sub>1</sub>等を計測マークPMとして用いれば良い。図10には、このような計測マークPMの空間像計測を行う際に、スリット板90上にその計測マークPMの空間像PM'が形成された状態が示されている。

【0134】上述のように、投影光学系PLの有効視野内の複数の検出点に位置する複数の計測マークの結像位

置(X、Y座標位置)から投影光学系PLのディストーションを計測する場合において、複数の検出点の内の任意の検出点を基準点とし、その基準点における計測マークの結像位置(X、Y座標位置)と、その基準点以外の点における計測マークの結像位置(X、Y座標位置)とのXY面内の相対位置を検出し、その相対位置から投影光学系PLのディストーションを求めることが望ましい。この場合には、基準点と基準点以外の検出点とに配置された計測マークを含む領域に可動ブラインド12により照明領域を順次変更して空間像計測及び計測マークの結像位置(X、Y座標位置)のXY面内の相対位置を検出を行えば良い。このようにすると、仮に、ウェハステージWST(スリット22a、22b)の位置を計測するウェハ干渉計31にドリフトなどが生じていたとしても、基準点における計測マークの結像位置(X、Y座標位置)の計測結果と、基準点以外の点における計測マークの結像位置(X、Y座標位置)の計測結果とに、上記ドリフト等に起因する同等の計測誤差が含まれる結果、上記の相対位置にはドリフトの影響が殆ど含まれないこととなる。従って、計測中の干渉計のドリフトなど

$$A = \frac{L1 - L5}{L1 + L5} \quad \dots(3)$$

【0138】Aは通常3%未満が投影光学系(投影レンズ)に望まれる性能である。

【0139】空間像計測においてもこのようなL/Sパターン像の線幅異常値を直接計測することが出来る。この場合は、スライス法によるエッジ検出の手法を用いれば良いが、スライスレベルの決定に当たって、空間像に対応する光強度信号を適当な閾値(スレッシュホールドレベル)で2値化し、レジスト像の線幅に近づけるという簡単なレジスト像シミュレーションを行うことにより、その閾値をスライスレベルとして決定することが望ましい。

【0140】以下、この線幅異常値の計測によるコマ収差の計測方法について説明する。このコマ収差の計測には、レチクルマーク板RFMの各AISマークブロック62内に配置された例えばライン幅0.8μm(ウェハ面上で0.2μm)でデューティ比1:1のY軸方向に周期性を有するL/Sネガマークが計測マークPMとして用いられる。

【0141】この場合、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、投影光学系PLの有効視野内の複数の検出点に配置された各計測マークの空間像を順次計測し、それぞれの光強度信号とスライスレベルとの交点をそれぞれ求め、その求められた交点のY座標(又はX座標)から空間像PM'のそれぞれについて各ラインのライン幅を求め、このライン幅に基づいてそれぞれの線幅異常値を(4)式に基づいて算出し、この算出結果に基づいて投影光学系PLの

の影響を最小限に抑えることができる。また、各検出点における計測の度毎に可動レチクルブラインド12により照明光の照射領域を制限するので、計測中の投影光学系PLへの照明光の入射量を抑制することができる。

【0135】次に、投影光学系のコマ収差の計測方法について説明する。コマ収差の計測は、L/Sマークを計測マークとして用いる第1の方法と、Line in Boxマークを計測マークとして用いる第2の方法とが代表的に挙げられる。

【0136】(第1の方法)焼き付け法により、コマ収差を測定する場合に、解像限界付近の小L/Sマーク像の線幅異常値を用いる方法が知られている。ここで、線幅異常値とは、焼き付けによって形成されるレジスト像の非対称の度合いを表す指標となる値である。例えば、図11に示される0.2μmL/Sマーク(設計値)のレジスト像を例にとりて説明すると、線幅異常値Aは、両端のラインパターンの線幅L1、L5を用いて、次の(3)式のように定義される。

【0137】

【数3】

コマ収差を求める。

【0142】なお、各計測マークPMが例えば5本のラインパターンを含む単独のL/Sパターンであり、線幅異常値の計測精度が不十分である場合には、各計測マークPMとして、例えば5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークパターンである前述した応用計測マークPM2を、各計測マークPMとして用いても良い。図12には、この応用計測マークPM2を用いた場合に、スリット板90上に応用計測マークPM2の空間像PM2'が形成された様子が示されている。

【0143】この空間像PM2'は、図13に示されるように、2つの基本的な周波数成分、すなわち光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する例えば0.4μmピッチの周波数成分(第1基本周波数成分)f1と、各L/Sパターンの全体の幅に対応する第2基本周波数成分、すなわち、各L/Sパターンの繰り返し周期(5本のマークからなるマークグループの配置ピッチ)である例えば3.6μmピッチに対応する周波数成分f2とを有する。

【0144】従って、主制御装置20では、前述と同様の手順で、空間像計測を行って、計測マークPM2の空間像PM2'に対応する光強度信号を得た場合に、各光強度信号の第1基本周波数成分と、第2基本周波数成分との位相差を位相検出の手法により算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求めることとしても良い。なお、この場合マークの配置ピッチ(上の例では0.4μm)と5本のマークからなるマークグルー



ブの配置ピッチ（上の例では $3.6\mu\text{m}$ ）の比率は整数倍とすることが信号処理上からは望ましい。

【0145】（第2の方法）次に、コマ収差の第2の測定方法について説明する。この方法では、計測マークPMとしては、前述したLine in BoxマークPM<sub>22</sub>が用いられる。このマークPM<sub>22</sub>は、図14に示されるように、1辺がD1（例えば $D1=120\mu\text{m}$ ）の正方形パターンの中に、同心でかつ1辺がD2（例えば $D2=80\mu\text{m}$ ）の正方形のスペースパターン（幅D3）が形成されたマークである。このマークPM<sub>22</sub>をウエハ上に焼き付け、現像すると、 $30\mu\text{m}$ 角のレジスト残しマークの中心に $20\mu\text{m}$ 角の細溝が同時に形成される。細溝は（波長/N・A.）/2以下程度の太さとすることが望ましく、従ってD3は、その4倍以下程度とすることが望ましい。例えば、D3は、 $0.4\mu\text{m}$ とされる。

【0146】このLine in BoxマークPM<sub>22</sub>を、コマ収差のある投影光学系で結像すると細線の方が太線よりも横ずれが大きく発生するため、細溝が偏心して対称性が崩れる。従って、その細溝の偏心量、すなわち対称性の崩れかたの程度を計測することにより、コマ収差の影響を知ることができる。

【0147】そこで、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、投影光学系PLの有効視野内の複数の検出点に配置された各マークPM<sub>22</sub>の空間像計測を行って、それぞれに対応する光強度信号を得る。そして、各光強度信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて各マークPM<sub>22</sub>の空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める。

【0148】上記の場合において、スリット板90上のスリット22a、22bの配置上、非計測方向のスリットが空間像と干渉する場合も考えられる。このような場合、上記マークPM<sub>22</sub>に代えて、例えば線幅 $4\mu\text{m}$ 程度の太いラインパターンと、例えば線幅 $0.4\sim 0.6\mu\text{m}$ 程度の細いラインパターンが計測方向に所定間隔（例えば、 $40\mu\text{m}$ 程度）で並んだ左右（又は上下）対称の1次元マーク、例えば前述したマークPM6（又はPM5）などを計測マークPMとして用いても良い。

【0149】図15には、このような計測マークPM6の空間像PM6'がスリット板90上に形成された状態が示されている。この図15において、D4は $10\mu\text{m}$ 、D5は $0.1\sim 0.15\mu\text{m}$ である。このような空間像PM6'に対応する光強度信号を、スライス法によるエッジ検出の方法により検出することにより、投影光学系PLのコマ収差を検出しても良い。

【0150】勿論、この場合も、計測再現性を向上するため、図16のような繰り返し配置された計測マークの空間像を検出することとしても良い。

【0151】次に、照明テレセン（投影光学系PLのテレセントリシティ）の測定方法について説明する。

【0152】照明テレセンは、像位置がデフォーカスによって変化する変化量を測定して決定する。計測マークとしては、倍率、ディストーション測定と同様にコマ収差の影響を受けない大きな計測マークがえられる。焼き付け法による場合は、Box in Box Markあるいは大L/Sマークが用いられ、ベストフォーカス位置、 $+1\mu\text{m}$ 程度のデフォーカス位置、 $-1\mu\text{m}$ 程度のデフォーカス位置の3点で、それぞれ露光を行い、像位置とフォーカス位置の関係を計測し、照明テレセン（＝（像の横ずれ量/デフォーカス量））を計算することが行われる。空間像計測の場合は、焼き付けと同様にコマ収差の影響を受けない大きな計測マークを用い、空間像の絶対位置（結像位置）を各フォーカス位置で計測し、照明テレセンを計算する。

【0153】これを更に詳述すると、投影光学系PLの有効視野内の第1の検出点に計測マークを位置させてその計測マークの空間像を形成し、投影光学系PLの光軸方向（Z軸方向）に関する第1位置でスリットスキャン方式で、計測マークPMの空間像を計測する。すなわち、空間像に対してスリット22を相対的に走査してスリット22を介した光を光センサ24で光電変換して空間像に対応する光強度分布を計測する。次いで、投影光学系PLの有効視野内の第2の検出点に計測マークPMを位置させて、その計測マークの空間像を形成し、Z軸方向の第2位置で計測マークPMの空間像をスリットスキャン方式で計測する。そして、スリット板22（スリット板90）がZ軸方向の第1位置にあるときの空間像の計測結果から得られる空間像のXY面内の結像位置と、スリット板22（スリット板90）がZ軸方向の第2位置にあるときの空間像の計測結果から得られる空間像のXY面内の結像位置と相対位置関係を求め、該相対位置関係から投影光学系PLのテレセントリシティを算出する。

【0154】この場合、投影光学系PLの有効視野内の第1の検出点に位置させた計測マークの空間像をZ軸方向の第1位置に対応する面内で計測した計測結果から得られる空間像のXY面内の結像位置（第1の結像位置）と、投影光学系PLの有効視野内の第2の検出点に位置させた計測マークの空間像をZ軸方向の第2位置に対応する面内で計測した計測結果から得られる空間像のXY面内の結像位置（第2の結像位置）との相対位置関係、すなわち第1の結像位置と第2の結像位置との相対距離、及びZ軸方向の第1位置と第2位置との距離に基づいて、投影光学系PLのテレセントリシティを算出する。このため、例えば第1の結像位置、第2の結像位置の計測に際し、ウエハ干渉計31にドリフト等が生じていても第1の結像位置、第2の結像位置の計測結果には同等の誤差が含まれる結果、干渉計ドリフトなどに起因する計測誤差の影響の殆どないテレセントリシティの高精度な計測が可能となる。

【0155】この場合において、投影光学系P Lの有効視野内の3点以上の検出点に位置する計測マークの空間像をスリット板90のZ位置を変更しながらその計測マークの空間像をスリットスキャン方式で計測し、空間像の絶対位置（結像位置）を各フォーカス位置について計測する場合には、該複数のフォーカス位置の内の任意のフォーカス位置を基準フォーカス位置とし、基準フォーカス位置における計測マークの空間像のXY面内の位置と基準フォーカス位置以外での計測マークの空間像のXY面内での位置との相対位置を計測し、その相対位置位置関係に基づいて投影光学系P Lの照明テレセンを計測することとすれば良い。

【0156】この場合において、例えば、基準フォーカス位置をベストフォーカス位置の近傍に設定した場合には、その+Z側、-Z側のそれぞれで少なくとも各1点のZ位置で投影光学系P Lの有効視野内の複数の検出点に配置された計測マークの空間像のXY面内位置を計測することとしても良い。

【0157】なお、照明テレセンの計測に際しては、レチクルマーク板R F M上の単一の計測マークを用い、該マークを投影光学系P Lの有効視野内の複数の検出点に順次位置決めし、各検出点で計測マークの結像位置をスリット板90のZ位置を変更して、順次計測しても良いし、投影光学系P Lの有効視野内の複数の検出点に同時に位置決めされるレチクルマーク板R F M上複数の計測マークの結像位置をスリット板90のZ位置を変更して、順次計測しても良い。

【0158】以上詳細に説明したように、本実施形態によると、レチクルステージR S Tによって、照明光I Lによって照明可能な投影光学系P Lの物体側焦点面位置近傍にレチクルマーク板R F Mに形成された各種自己計測に用いられる複数種類の計測マークP M1～P M22等のいずれをも位置させることができる。このため、照明光I Lを計測マークP Mに照射し、その計測マークP M1～P M22等の像を投影光学系P Lの像側焦点面近傍に結像させ、その像を検出することにより、専用の計測用原版を別に用意することなく、各種自己計測が可能となる。

【0159】具体的には、主制御装置20では、例えば照明光I Lによって、レチクルマーク板R F Mの少なくとも一部が照明され、投影光学系P Lによってその像側焦点面近傍に照明光I Lで照明された計測マークの空間像が形成された際に、該空間像とスリット22とが相対走査されるようにスリット板90、すなわちウエハステージW S Tを駆動する、スリットスキャン方式の空間像計測により、前述した投影光学系P Lのベストフォーカス位置、像面形状（像面湾曲を含む）、球面収差、ディストーション、倍率、コマ収差、照明テレセン等の光学特性、及びアライメント系A L Gのベースライン計測などの自己計測を行うことが可能となっている。これより

明らかなように、本実施形態では、主制御装置20によって移動制御装置が構成されている。

【0160】例えば、主制御装置20では、ベストフォーカス位置、像面形状の計測結果に基づいて、多点焦点位置検出系（60a, 60b）を構成する各フォーカスセンサ（受光素子）の検出出力のオフセット設定、あるいは原点位置の再設定等のキャリブレーションを高精度に行うことができる。

【0161】また、主制御装置20では、像面湾曲、ディストーション、倍率、コマ収差などの各種収差の計測結果に基づいて、投影光学系P Lを構成する少なくとも1枚の投影レンズを不図示の結像特性補正系を介して光軸方向及び光軸に直交する面に対して傾斜方向に駆動することにより、投影光学系の上記各種収差を補正する収差の自動調整が可能となる。

【0162】また、主制御装置20では、上記の照明テレセンの計測結果に基づいて、照明系10内の不図示のリレーレンズを駆動することにより照明テレセンを自動修正することも可能である。

【0163】また、主制御装置20では、上記のベースラインの計測結果に基づいて、ベースラインの自動調整を容易に行なうことができ、この結果、ウエハアライメント精度を向上させることができる。

【0164】なお、主制御装置20では、空間像計測に際して、ウエハステージW S T（スリット板90）を静止させたまま、レチクルステージR S T（レチクルマーク板R F M）を移動させても良く、あるいはウエハステージW S T（スリット板90）及びレチクルステージR S Tを同時に相互に逆向きに移動させても良い。

【0165】本実施形態の露光装置100によると、上述したベースライン計測によりベースラインが自動補正されたアライメント系A L Gを用いて精度良く、ウエハアライメント（E G A）等が行われ、また、走査露光時には、キャリブレーションが高精度に行われた多点焦点位置検出系（60a, 60b）を用いて、ウエハWのオートフォーカス、オートレベリングを高精度に行ってウエハW表面を計測された像面に実質的な合致させつつ、諸収差が高精度に調整された投影光学系P Lを介してレチクルRの回路パターンがウエハW上の各ショット領域に重ね合せて転写されるので、露光精度（重ね合わせ精度、フォーカス合わせ精度を含む）を高く維持した露光が可能となる。

【0166】なお、投影光学系P Lの倍率誤差は、レチクルRの回路パターンとウエハW上のショット領域との重ね合わせ精度に影響を与えるため、投影光学系P Lの倍率計測及びその結果に基づく自動補正は、なるべく高頻度で行うことが望ましい。しかし、上述したスリットスキャン方式による空間像計測は、計測に或程度の時間を要するので、頻繁に行うことはスループットの低下の要因となる。

【0167】そこで、主制御装置20は、ウエハWをロット単位で露光する際に、各ロット先頭のウエハWの露光時には、レチクルマーク板RFM、空間像計測器59を用いてレチクルマーク板RFM上の計測マークの空間像計測を行い、その計測結果に基づいて投影光学系PLの倍率を算出し、各ロット内の先頭以外のウエハの露光時には、レチクルマーク板RFM及びレチクルRの一方のアライメントマークと、ウエハステージWST上の不図示の基準マークの投影光学系PLを介した像とをRA頭微鏡28を用いて観察し、その観察結果に基づいて投影光学系PLの倍率を算出することとしている。これにより、スループットを不用意に低下させることなく、投影光学系PLの倍率を所望の値に維持し、ひいては重ね合せ精度を高く維持することができる。

【0168】また、本実施形態では露光装置100を構成する照明系10を用いて、空間像計測を行うので、各種照明条件（コンベンショナル照明、輪帯照明、変形照明など）、レチクル種類（ハーフトーンレチクル、通常レチクル）などとの組み合わせでの空間像計測が可能である。従って、露光時と同じ若しくはそれに近い条件下での各種自己計測をレチクルマーク板RFMを用いて行うことが可能である。

【0169】これらのレチクル種類、対象線幅、孤立線、密集線などの別、照明条件などのいろいろな組み合わせは同一の露光装置内であっても相互に異なるプロセスプログラムで管理される。従って、例えばフォーカスキャリブレーションにおいて必須となる、計測値と最適条件とのオフセット値もこれらの組み合わせに対応可能なだけ用意しておくことが望ましい。

【0170】通常、投影光学系PLの収差などの調整は、異なる照明条件毎に行われるが、その際に使われるマークは孤立線、密集線の特定の線幅になる。従って、照明条件が決まれば空間像計測に用いられる計測マークも決まると考えて差し支えなく、複数のプロセスプログラムに対応するオフセットの総数は照明条件の総数と等しくなる。本実施形態のレチクルマーク板RFMでは、空間像計測に主として用いられる各ネガマークに近接して焼き付けに主として用いられるポジマークが配置されている（図5参照）。従って、このレチクルマーク板RFM上のポジマークを用いた焼き付け法により、投影光学系PLの光学特性を計測し、この計測結果に基づいて、投影光学系PLの調整を行った直後にレチクルマーク板RFM上のネガマークの空間像計測を行い、その結果に基づいて上記のオフセットを容易に求めることが可能である。

【0171】このほかに、デバイス製造用のレチクルとレチクルマーク板RFMとの形状の差違（撓み量等の際）に伴う誤差もオフセットとして管理する必要がある。これは、デバイス製造用のレチクル上のマークとレチクルマーク板RFM上のマークとの空間像の計測結果

を比較することで容易に求められる。この意味では、デバイス製造用のレチクルに上述したRFMと同一種類の各種計測マークを形成することが望ましい。

【0172】なお、上記実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを基板に転写するとともに、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置にも本発明は適用することができる。

【0173】また、上記各実施形態では、本発明が半導体製造用の露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子、マイクロマシン、DNAチップ、及びレチクルやマスクなどを製造するための露光装置などにも本発明は広く適用できる。

【0174】また、上記各実施形態では、露光用照明光としてKrFエキシマレーザ光（248nm）、ArFエキシマレーザ光（193nm）などを用いる場合について説明したが、これに限らず、g線（436nm）、i線（365nm）、F<sub>2</sub>レーザ光（157nm）、銅蒸気レーザ、YAGレーザの高調波等を露光用照明光として用いることができる。

【0175】また、上記各実施形態では、投影光学系として縮小系かつ屈折系を用いる場合について説明したが、これに限らず、投影光学系として等倍あるいは拡大系を用いても良いし、屈折系、反射屈折系、あるいは反射系のいずれを用いても良い。

【0176】なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系PLを露光装置本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージRSTやウエハステージWSTを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置100を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0177】《デバイス製造方法》次に上述した露光装置100をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

【0178】図17には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図17に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一

方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0179】次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立てステップ）において、ステップ204で処理されたウエハを用いてデバイス組立てを行う。このステップ205には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

【0180】最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作成されたデバイスの動作確認テスト、耐久テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0181】図18には、半導体デバイスにおける、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図18において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打ち込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

【0182】ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0183】これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0184】以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ216）において上記実施形態の露光装置が用いられるので、重ね合せ精度良くレチクルのパターンをウエハ上に転写することができる。この結果、高集積度のデバイスの生産性（歩留まりを含む）を向上させることが可能になる。

【0185】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の露光装置によると、専用の計測用原版を用いることなく、各種自己計測を行うことが可能となるという効果がある。

【0186】また、本発明の光学特性計測方法によると、投影光学系のテレセントリシティを精度良く計測することができるという効果がある。

【0187】また、本発明のデバイス製造方法によると、デバイスの生産性を向上させることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る露光装置100の概略的な構成を示す図である。

【図2】図1のアライメント系及び空間像計測器の内部構成を示す図である。

【図3】アライメント系によりウエハ上のアライメントマークを検出している様子を示す図である。

【図4】図1のレチクルマーク板を示す底面図である。

【図5】レチクルマーク板上のマーク配置の一例を示す図である。

【図6】図6（A）は、空間像の計測に際してスリット板上に空間像PM'が形成された状態の空間像計測器を示す平面図、図6（B）はその空間像計測の際に得られる光電変換信号（光強度信号）Pの一例を示す線図である。

【図7】スリット板上のスリットの配置を示す平面図である。

【図8】スリット板を13段階（ステップ）でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラスト等の評価量の計測値（×印）を横軸をZ軸として示す図である。

【図9】倍率及びディストーション測定の際のスリット板を示す平面図である。

【図10】大きなL/Sマークから成る計測マークの空間像計測を行う際に、スリット板上にその空間像が形成された状態を示す平面図である。

【図11】コマ収差の第1の計測方法を説明するための図であって、レジスト像の一例を示す図である。

【図12】5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークを用いた場合にその空間像がスリット板上に形成された状態を示す平面図である。

【図13】図12に示される空間像が、2つの基本的な周波数成分を有することを説明するための図である。

【図14】マークPM<sub>22</sub>を拡大して示す図である。

【図15】線幅の太いラインパターンと線幅の細いラインパターンが計測方向に所定間隔で並んだ左右対称の1次元マークから成る計測マークの空間像がスリット板上に形成された状態を示す平面図である。

【図16】図15の場合の1次元マークが繰り返し配置された計測マークの空間像がスリット板上に形成された

35

状態を示す平面図である。

【図17】本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図18】図17のステップ204の詳細を示すフローチャートである。

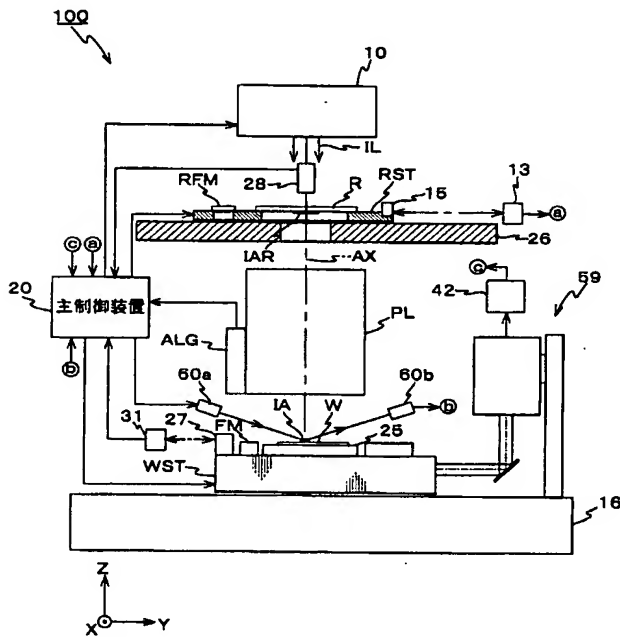
【符号の説明】

20…主制御装置（移動制御装置、制御装置）、22…スリット（計測用パターン）、24…光センサ（光電変

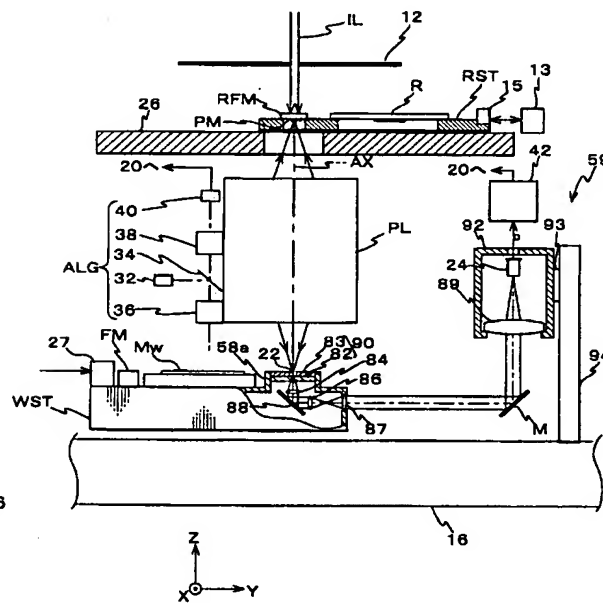
36

換素子）、28…RA顕微鏡（観察顕微鏡）、59…空間像計測器、90…スリット板（パターン形成部材）、100…露光装置、R…レチクル（マスク）、IL…照明光、PL…投影光学系、W…ウエハ（基板）、RFM…レチクルマーク板（自己計測用原版）、FM…基準マーク板、RST…レチクルステージ（自己計測用原版配置ステージ、マスクステージ）、WST…ウエハステージ（基板ステージ）。

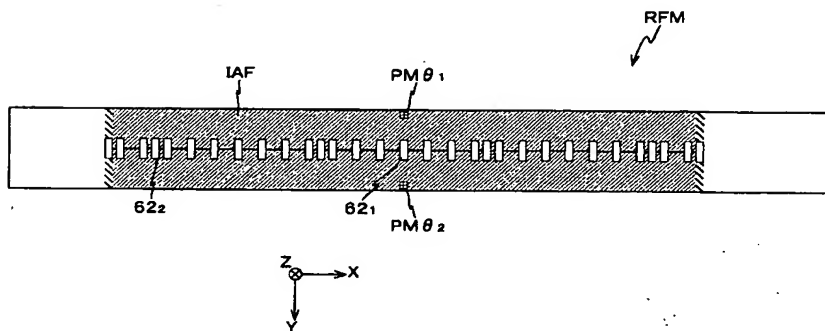
【図1】



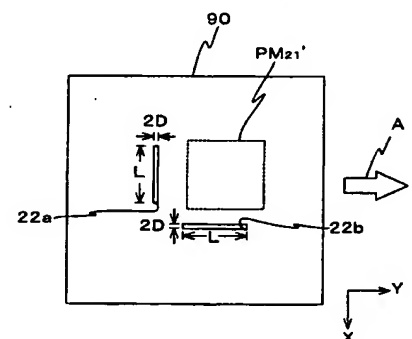
【図2】



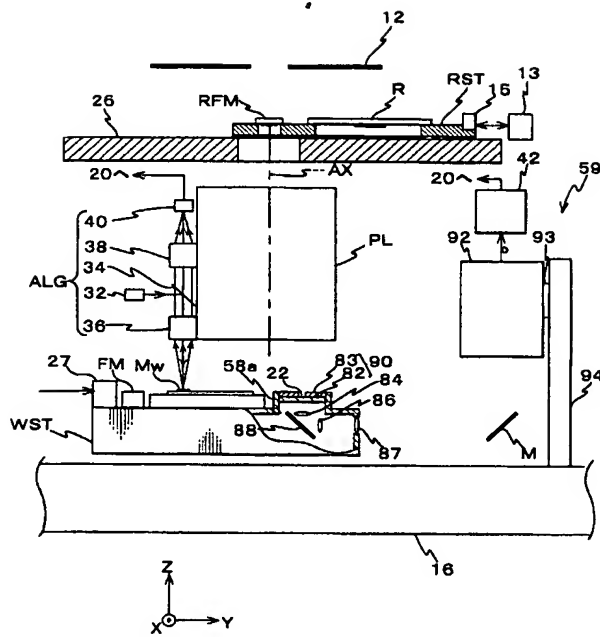
【図4】



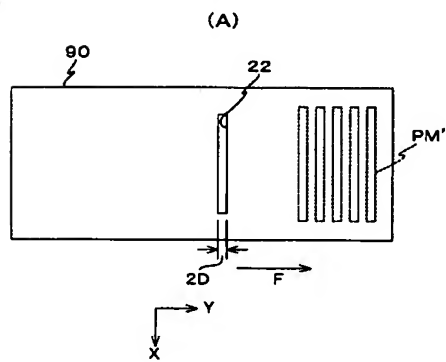
【図9】



【図3】



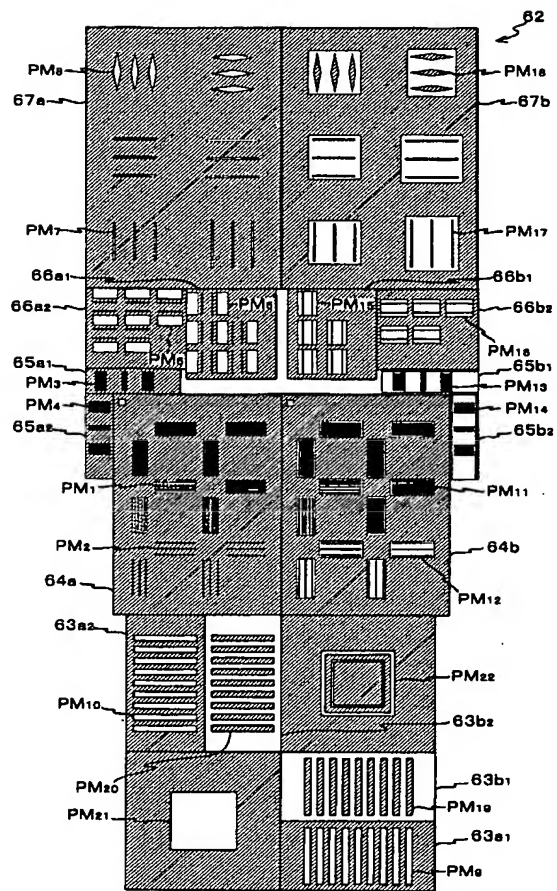
【図6】



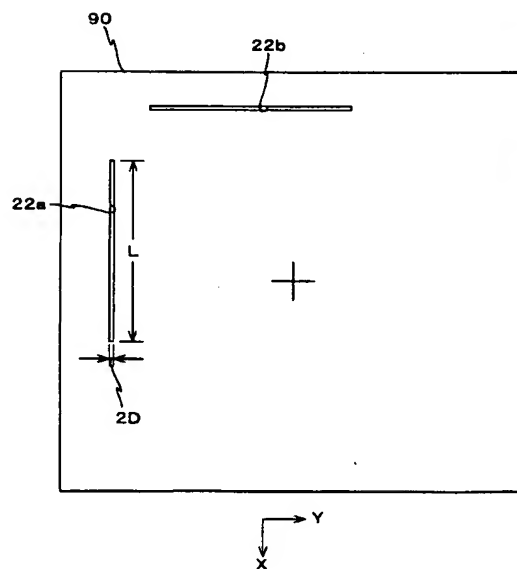
(B)



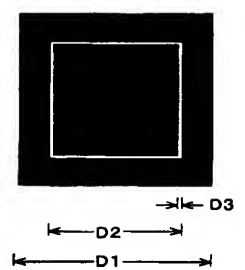
【図5】



【図7】

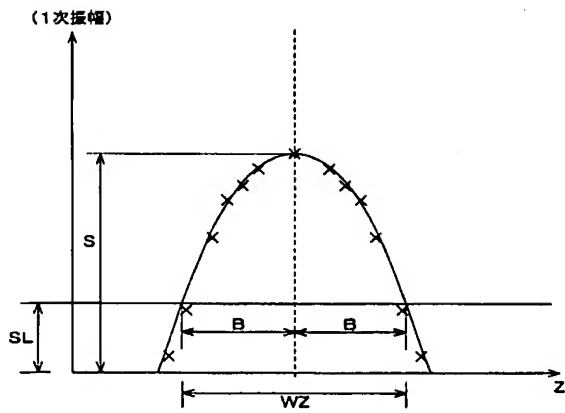


【図14】

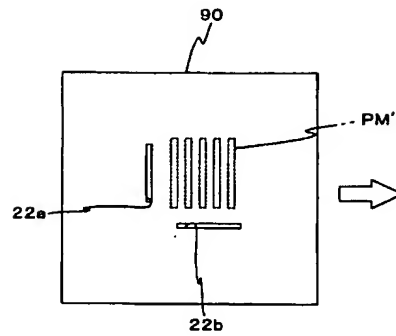




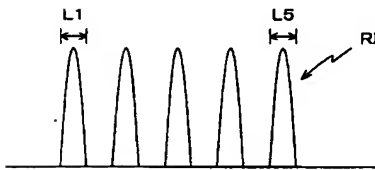
【図8】



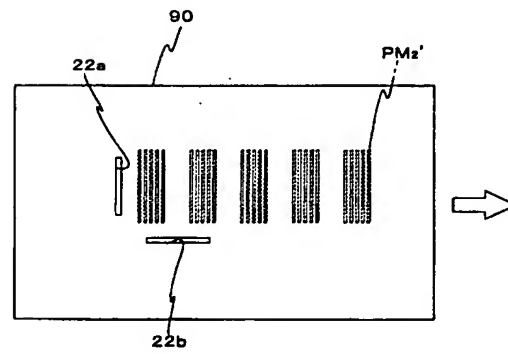
【図10】



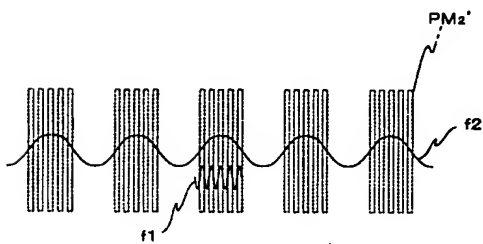
【図11】



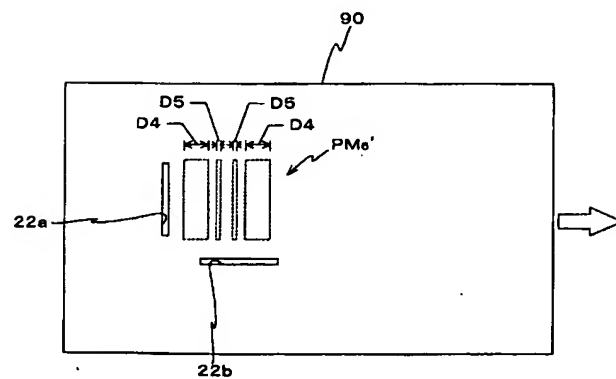
【図12】



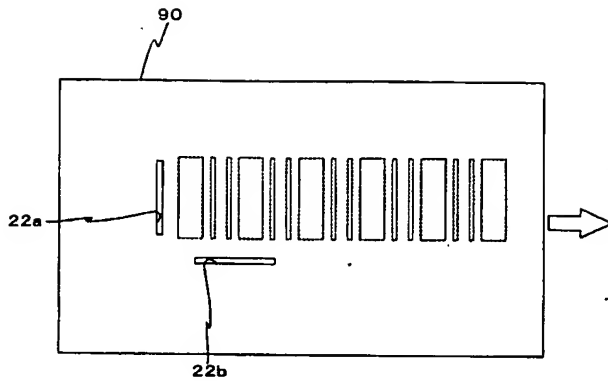
【図13】



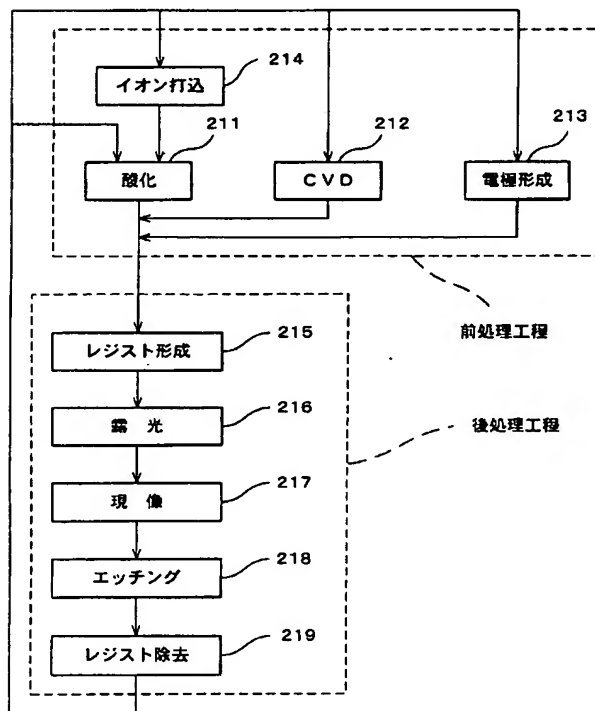
【図15】



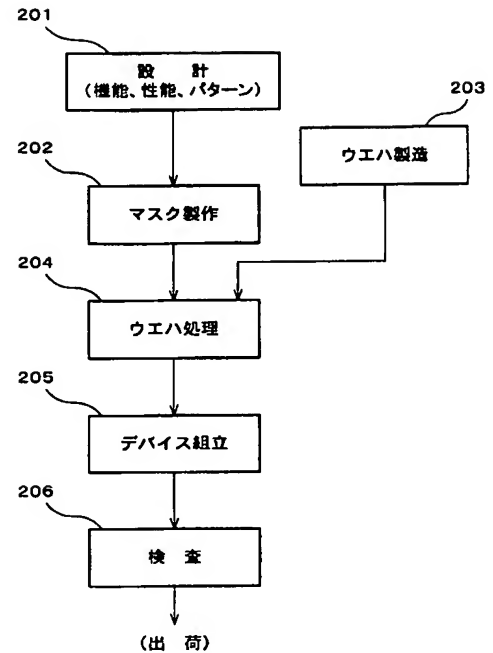
【図16】



【図18】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 高根 栄二  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(72)発明者 鍛田 旬美  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(72)発明者 鈴木 広介  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

F ターム(参考) 2G086 HH06  
2H095 BE03 BE07 BE09  
5F046 BA04 BA05 CB17 CB27 CC02  
DA13 DA14 DB05 DC03 DC05